

Les enjeux de la conception système en phase d'esquisse pour les systèmes du génie électrique : illustration sur le cas des systèmes énergétiques pour les bâtiments

F. Wurtz¹, B. Delinchant¹, Xavier Brunotte², Julien Pouget³, Van Dinh Binh¹

¹ G2elab : Laboratoire de génie électrique de Grenoble, ENSE3 : 961, Rue de la Houille Blanche, BP 46, 38402 Saint Martin d'Hères

² VESTA-SYSTEM: 22, avenue Doyen Louis Weil, 38000 Grenoble

³ SNCF : Innovation & Recherche, 40, avenue des Terroirs de France, 75611 Paris Cedex 12

RESUME – Ce papier propose de donner un statut, et un outil, aux phases de conception initiale, dans lesquelles les caractéristiques principales du système énergétique utilisant l'énergie électrique doivent être esquissées. Nous proposons ainsi, d'utiliser un type de modèle adapté (modèle macroscopique et statique basé sur des bilans énergétiques et financiers). Ces modèles sont réalisés à l'échelle des composants du système et ils comportent des équations et des contraintes, qui sont ensuite composées à l'échelle du système, via des ports énergétiques et financiers. Il en résulte un modèle qui peut dès lors, être utilisé par des techniques d'optimisation. Cela permet de fournir un dimensionnement global et simultané des caractéristiques du système (taille et dimension des systèmes énergétiques) tout en esquissant une stratégie de gestion optimale sur des cycles de fonctionnement type. La fonction objectif est un coût global du système intégrant les coûts d'investissement, de maintenance et d'exploitation. Cette approche est illustrée sur un exemple de gare, représentatif à la fois des enjeux de la filière bâtiment, mais aussi représentatif de cette problématique de conception générique des systèmes hybrides comportant des sources, des charges et des moyens de stockage, auquel le génie électrique est de plus en plus confronté via des application dans les transports terrestres aéronautiques, le smart-building, le smart-grid, ...

MOTS-CLES – conception, dimensionnement optimisation, esquisse énergétique, approche système, stockage, système hybrides, conception intégrée taille des systèmes & stratégie de supervision

1. Introduction de la notion d'esquisse énergétique pour le bâtiment : définition conceptuelle et proposition d'un type d'outil ad'hoc

On se propose d'introduire un concept innovant d'esquisse énergétique. Il s'agit d'un concept équivalent à ce qu'on peut avoir en architecture ou en design [HAU-01], mais focalisé sur l'aspect énergétique. On propose, pour instrumenter cette phase, de définir un concept d'outil d'esquisse énergétique utilisant:

- des approches d'optimisation comme aide à la décision

- des modèles d'esquisse énergétique, qui doivent être d'une nature (hypothèses et niveaux de modélisations) et qui doivent porter des informations (comme des contraintes) compatibles avec l'objectif d'esquisse.

On illustrera ainsi comment ce type d'outil et d'approche permet d'« esquisser » simultanément les caractéristiques principales du système énergétique et la stratégie optimale de gestion énergétique. Ce concept et ce type outil ont été imaginés et appliqués ici pour des gares à énergie positive, mais les concepts et outils proposés s'avèrent être génériques et utilisables pour système ayant vocation à utiliser de l'énergie électrique.

2. Importance, place et rôle de la phase d'esquisse dans le processus de conception

Les phases d'esquisses sont les phases du processus de conception qui font partie des phases préliminaires. Les études théoriques sur l'activité de conception [VIS-04] montrent que, si ces phases préliminaires ne représentent qu'un faible coût (5% du coût des projets), elles sont pour autant fondamentales, car on y prend les décisions qui fixent 75% des coûts totaux du projet. Il est donc important d'y d'explorer le maximum de possibilités, avec des outils de modélisation

et d'aide à la décision pertinents, afin de fixer les bons choix dès les phases initiales, et en intégrant au plus tôt des aspects habituellement décidés très tard dans le cycle de conception des produits, comme la stratégie de gestion optimale.

On insistera aussi sur la difficulté de la phase d'esquisse expliquant sans doute pourquoi cette phase est certainement pour le moment peu, ou pas instrumentée avec des outils et des concepts efficaces. Ceci est certainement dû à des difficultés fondamentales inhérentes à cette phase : le système n'est pas encore descriptible et connu dans ses détails, il est juste esquissé, il faut néanmoins s'appuyer et définir des outils et de modèles de calcul.

3. Introduction d'un type « modèle d'esquisse énergétique » pour les composants du système

Pour cette phase d'esquisse énergétique, nous proposons d'introduire pour chaque composant du système, un type de modèle dédié à l'optimisation énergétique qui comporte une dimension physique, avec pour chaque composant des équations reliant les principales dimensions physiques aux performances énergétiques, les flux énergétiques (pour l'énergie électrique, l'énergie thermique, ...) à l'échelle du composant. Ceci est réalisé par des modèles analytiques et statiques. Il n'est pas utile et pertinent, dans cette phase d'esquisse, de se lancer des les outils de simulation fine car : le système et les composants ne sont pas encore connus finement, il existe un besoin d'estimation rapide pour explorer le maximum de combinaisons et de possibilités. Il s'agit aussi d'introduire une dimension économique en estimant le coût économique sur la durée de vie prévue pour le composant qui sera la somme des coûts d'investissement et des coûts d'exploitation (ce qui est une manière d'esquisser un calcul d'Analyse de Cycle de Vie, même si le démantèlement n'est pas intégré).

Dans ce but, chaque composant doit fournir des équations pour calculer : les coûts d'investissement, les coûts d'exploitation et des contraintes qui peuvent porter sur : la taille des équipements (cf. la taille du panneaux solaire qui doit rester inférieure à une surface max qui est typiquement la surface du toit), le fonctionnement des équipements (cf. l'état de charge de la batterie qui doit rester inférieur à la capacité max de la batterie), des ports qui doivent permettre la composition à l'échelle du système au niveau des flux énergétiques et économiques.

La figure 1 illustre la structure d'un tel modèle pour l'exemple d'une batterie électrique.

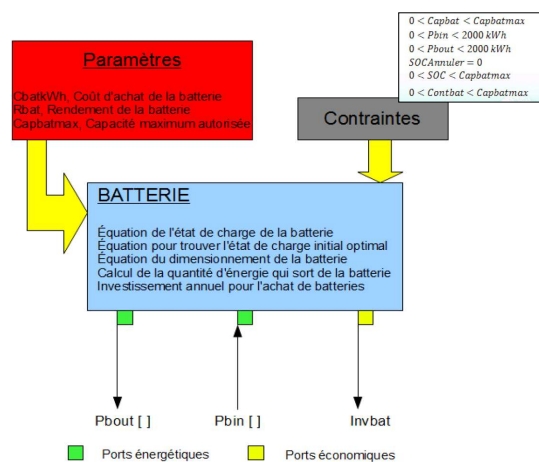


Figure 1 : Structure des modèles de composants réalisés pour un outil d'esquisse énergétique

4. Composition des « modèle d'esquisse énergétique » : génération des équations et des contraintes de dimensionnement et de fonctionnement à l'échelle du système

Ces modèles sont ensuite composés pour le modèle d'esquisse de l'ensemble comme cela est illustré sur la figure 2 : les modèles sont composés via les ports énergétiques et économiques. Cette composition permet à l'échelle du système global, non seulement la composition des équations, mais aussi des contraintes.

5. Emploi de techniques d'optimisation

Ici l'optimisation ne doit pas être considérée comme un outil qui doit permettre de trouver LA solution optimale, mais plutôt comme un outil d'aide à la décision, assisté par l'optimisation, afin que le concepteur soit essentiellement et principalement à même de se construire une conviction en répondant typiquement à des questions telles :

Quelle est la bonne topologie du système ?,

Est-ce que le problème est bien posé ? Est-ce-que les équations et les contraintes sont correctes cohérentes et plausibles ?,

ceci en ayant la possibilité de mener des étude d'alternatives et de scénarios en testant des hypothèses sur l'évolution des coûts d'énergie, des coûts des technologies, ...

Dans notre cas, les algorithmes d'optimisation déterministes (type gradient type SQP [POW-85], ou MILP [HA-10]) sont privilégiés pour leur rapidité de convergence (il est primordial d'itérer rapidement) et leur capacité à gérer un grand nombre de paramètres et de contraintes.

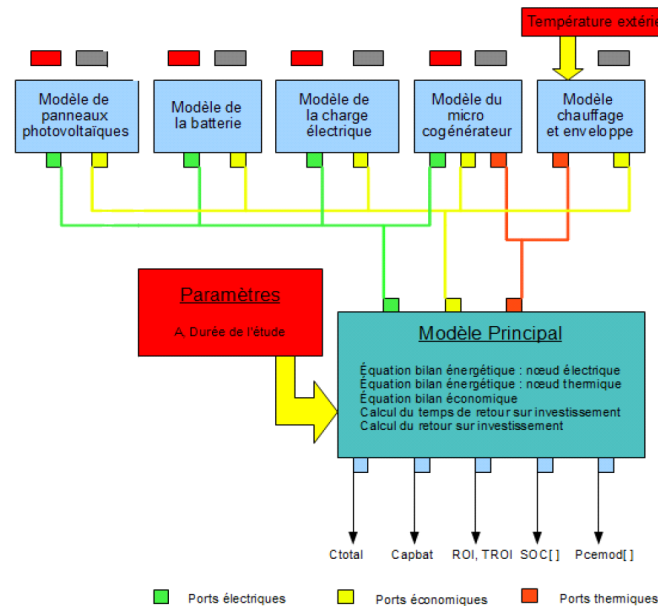


Figure 2 : Composition des modèles (équations + contraintes) à l'échelle du système via les ports (énergétiques et financiers)

6. L'exemple considéré: dimensionnement simultané de l'enveloppe + la taille des systèmes énergétiques + la stratégie de supervision optimale

L'exemple qui sera présente à été construit pour un bâtiment type gare pouvant être équipé de systèmes énergétiques tels que des panneaux solaires, des co-générateurs, des batteries, ... Il possède un réseau thermique de chauffage et il est connecté au réseau électrique avec une courbe de charge électrique pouvant comporter des capacités de report.

Le modèle et l'application ont été développés dans le framework CADES initialement développé au G2ELAB [DEL-07] et industrialisé à présent par Vesta-system (cf. <http://www.cades-solutions.com>).

Ceci a permis de réaliser l'outil d'optimisation en phase d'esquisse qui est visualisé sur la figure 3 :

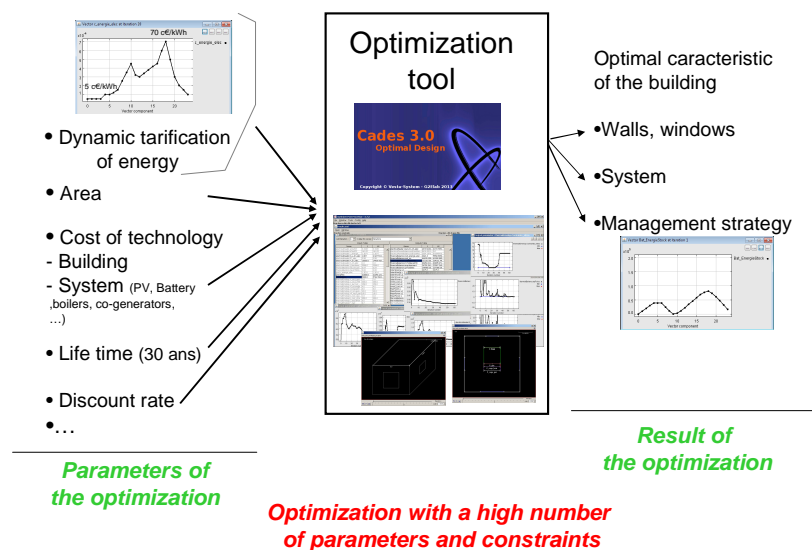


Figure 3 : Outil pour la phase d'esquisse énergétique réalisant permettant le dimensionnement simultané du bâtiment, de la taille des systèmes énergétiques et de la stratégie de supervision

7. Description d'une étude réalisée avec l'outil d'esquisse énergétique

L'article sera l'occasion de montrer des études réalisées avec cet outil d'esquisse énergétique aptes à produire rapidement des résultats comme ceux visualisés sur la figure 4, issus d'une série d'optimisations paramétrées montrant la surface optimale de PV à utiliser en fonction de la technologie PV que l'on fait varier entre 200 et 1100 €/m².

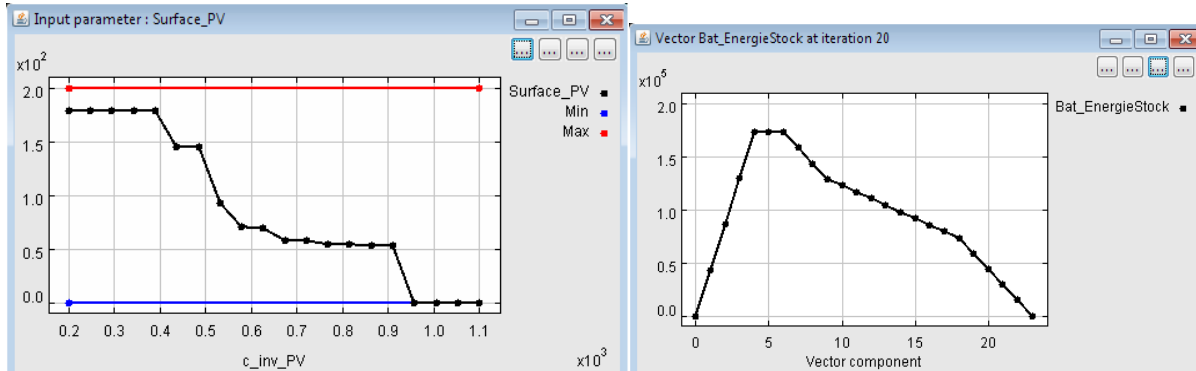


Figure 4: A gauche : Taille optimale de panneaux solaire (en m²) en fonction du coût de la technologie de panneaux solaire (en k€/m²) – Chaque point correspond à une optimisation – A droite : Exemple de stratégie optimale de l'état de charge dans la batterie (en Wh) sur une journée type de 24 h considérée (Pour $c_inv_PV=1.1$ k€/m²)

8. Conclusion

Cet article présente un concept d'outil innovant d'esquisse énergétique, dont nous avons validé le principe sur une application de gare à énergie positive. Cet outil permet non seulement de dimensionner les caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment, des systèmes, tout en calculant une stratégie de gestion optimale. Ce type d'approche est pertinent et son développement est fondamental pour améliorer les processus de conception des systèmes énergétiques utilisant l'énergie électrique. Ce concept a vocation à être utilisé pour d'autres systèmes énergétiques hybrides multi-sources et multi-charges, comme le génie électrique en connaît de plus en plus (cf. les véhicules électriques et hybrides, les actionneurs dans les avions plus électriques, les smart-grids, ...) et ceci en permettant en améliorant les processus de conception dès les phases très initiales.

9. Références

- [HAU-01] Hauglustaine, J. M. « Outil d'aide à l'optimisation de l'enveloppe de bâtiment, au stade de l'esquisse d'avant-projet », 16e colloque Université-Industrie Applications de l'électricité dans les locaux résidentiels, tertiaires & industriels, 14 juin 2001
- [VIS-04] W. VISSER, "Dynamic Aspects of Design Cognition: Elements for a Cognitive Model of Design", INRIA, Rapport de recherche n° 5144 – Mars 2004 - 116 pages
- [DEL-07] "An Optimizer using the Software Component Paradigm for the Optimization of Engineering Systems", B. DELINCHANT, D. DURET, L. ESTRABAUT, L. GERBAUD, H. H. NGUYEN HUU, B. DU PELOUX, H.L. RAKOTOARISON, F. VERDIERE, S. BERGEON; F. WURTZ, COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering", Vol. 26 No. 2, 2007, pp. 368-379
- [POW-85] M. J. D. Powell, "On the quadratic programming algorithm of Goldfarb and Idnani", Mathematical Programming Study 25 (1985), pp. 46-61
- [HA-10] L. D. Ha, S. Ploix, M. Jacomino, and H. Le Minh. Energy Management, chapter, "A mixed integer programming formulation of the home energy management problem", ISBN 978-953-307-065-0. INTECH, 2010
- [WU-12] "Sketch Systemic Optimal Design Integrating Management Strategy, Thermal Insulation, Production And Storage Energy Systems (Thermal And Electrical): Application To An Energy- Positive Train Station", F. WURTZ, J. POUGET, X. BRUNOTTE, M. GAULIER, Y. RIFONNEAU, S. PLOIX AND B. L'HENORET, IBPSA 2013 - 13th International Conference of the International Building Performance Simulation Association, 25-28th August 2013, FRANCE (hal-00875140)